

文章编号: 1000-8349(2009)01-0070-10



光学天文望远镜用微位移 驱动器机构研究综述

邵 亮^{1,2}, 杨德华¹, 陈昆新¹, 杨斌堂³

(1. 中国科学院 国家天文台南京天文光学技术研究所, 南京 210042; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039;
3. 机械系统与振动国家重点实验室 上海交通大学机械与动力工程学院, 上海 200240)

摘要: 该文回顾光学天文望远镜拼接镜面主动光学技术中的微位移驱动器的应用, 介绍了微位移驱动器的工作原理、机械结构以及性能要求。概述了微位移驱动器的基本组成机构, 并结合目前应用于天文望远镜的具体实例, 比较了其优缺点。最后针对未来极大口径天文望远镜中的应用要求, 对微位移驱动器的发展趋势提出展望。

关键词: 天文望远镜; 拼接镜面主动光学技术; 微位移驱动器; 运动缩放机构; 导向机构

中图分类号: P111.2 **文献标识码:** A

1 引 言

20 世纪 80 年代以来, 为解决光学天文望远镜日益增大的口径要求与大直径镜面制造困难之间的矛盾, 拼接镜面主动光学技术应用于大型天文望远镜的设计制造中。目前, 最大单块镜面望远镜直径已达到 8 m 级, 更大直径的单镜面难于加工。采用拼接镜面主动光学望远镜可采用 1~2 m 级的子镜拼接以实现大口径, 并已成功应用于大口径天文望远镜的建造, 如 Keck 及 GTC (10 m)、HET 及 SALT(10 m) 和我国 LAMOST(6.7 m) 等望远镜。在预研究中的 OWL(100 m)、Euro-50(50 m)、TMT(30 m)、NGST(6.5 m) 和我国的 CFGT(30 m) 等计划也均采用了拼接镜面主动光学技术进行大量子镜的主动拼接, 从而实现了极大的集光口径^[1-5]。可见, 拼接镜面主动光学技术是建造大口径望远镜的关键技术和未来技术发展的趋势。

收稿日期: 2008-04-09; **修回日期:** 2008-11-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (10503007); 天文联合基金 (10778620)

图 1 和图 2 所示为典型拼接镜面望远镜原理示意图。根据拼接镜面主动光学的原理和要求, 每块子镜面需要 3 个微位移驱动器来调节其姿态以实现子镜自主主动共面的要求, 这使得微位移驱动技术和微位移驱动器成为实现拼接镜面主动光学技术的核心技术和部件。实现稳定的纳米级分辨率和毫米级行程的位移输出, 且克服或减少诸如爬行、摩擦、迟滞、空回和产热等有害缺点, 是提高拼接镜面主动光学望远镜性能的一项关键技术。

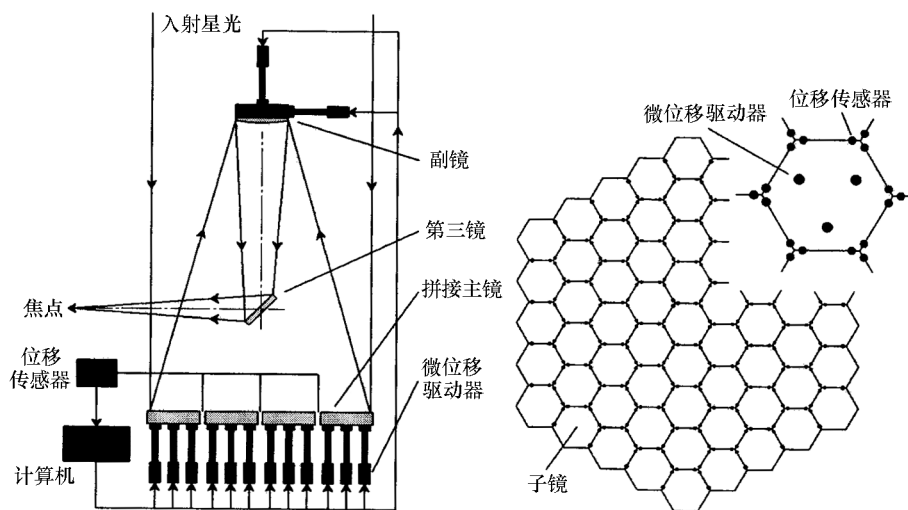


图 1 Keck 拼接镜面主动光学望远镜光路原理图 [6]

图 2 子镜、传感器和驱动器的布局图 [6]

国际上大口径望远镜中, Keck 望远镜采用了自行研制的液压位移驱动器, 而其他望远镜工程更多地采用商用产品。目前具有天文应用的位移驱动器厂商主要有美国 Diamond 公司和德国 PI 公司, 如 HET 选用了前者, SALT 选用了后者, 均为基于电机-减速器式微位移驱动器, 售价昂贵, 一般约 2000 美元/支 (不含控制器)。根据其性能指标和应用情况, 存在微米量级的有害回程间隙, 且由于可实现的最小有效位移分辨率约 50 nm, 以及由于输出负载能力较小, 在实际应用中都采用杠杆机构进行提高位移分辨率和承载能力; 又由于运行速度较慢, 一般为 $10\sim 20\ \mu\text{m}/\text{s}$, 杠杆的引入更大大降低了其执行速度和刚性。另外, 为提高工作精度, 应用中均采用闭环控制模式。PI 公司开发的基于压电技术的微位移驱动器, 具有高分辨大承载等优点, 但实现大行程较为困难, 并且高电压和高产热限制其在天文望远镜中的应用。到目前, 天文界基于磁致伸缩原理的位移驱动器仅仅有天文望远镜后端仪器如光谱仪的器件位移微调的应用。据了解 PI 公司也在开发基于磁致伸缩原理的微位移驱动器, 但尚未推出天文望远镜拼接镜面的应用产品。目前尚无国产微位移驱动器在基于拼接镜面主动光学的天文望远镜上的应用。未来极大口径望远镜将大规模 (千块量级) 地采用子镜拼接技术, 需要使用大量的微位移驱动器, 因而开展微位移驱动器的研制并掌握其自主知识产权具有必要性、紧迫性。本文结合大口径天文望远镜主动光学技术的应用要求, 系统回顾和比较各类微位移驱动器的基本机械结构, 为自行设计方案的遴选提供依据。

2 微位移驱动器基本结构

2.1 基本技术要求

一般而言, 拼接镜面主动光学技术对微位移驱动器有如下基本技术要求:

- (1) 自身结构刚度大;
- (2) 分辨率达 10 nm 级;
- (3) 行程 2~4 mm ;
- (4) 功耗低, 对气流影响小;
- (5) 断电保持;
- (6) 无爬行、消间隙;
- (7) 负载能力 300~500 N ;
- (8) 洁净, 避免油脂挥发污染镜面等。

2.2 基本机构

微位移驱动器在拼接镜面主动光学技术中作为定位调节机构, 必须同时具有大行程、高精度和大负载的性能。而在实际的工程应用中, 大行程和高精度是难以同时兼顾的。在传统机械领域, 通常采用以下三种方案解决这一矛盾^[7]:

- (1) 粗精平台相结合的方式;
- (2) 基于“尺蠖原理”的移动式驱动系统;
- (3) 在驱动器与执行器之间采用具有运动缩放功能的机构。

目前已经应用于实际的天文望远镜领域的微位移驱动器的总体设计方案, 基本采用了最后一种方案, 同时极大口径望远镜中又在一定程度上融入了其余两种方案的思想。如图 3 所示, 微位移驱动器按照功能分, 一般具有三个部分: 驱动元件、传动元件(也即位移缩放机构)、位移输出导向机构; 另外, 有必要施加预紧, 而在大负载时, 还要采取卸荷措施。

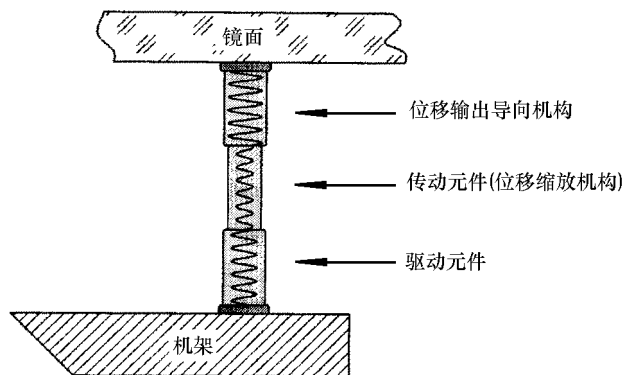


图 3 微位移驱动器结构原理图

驱动元件提供运动来源并对微位移驱动器进行总体位移输出控制; 位移缩放机构的功能实质上是满足技术要求, 克服源驱动运动中行程和分辨率难以兼顾的缺点, 对两种调整以及平衡, 整个系统理论上位移输出的分辨率以及行程由该环节决定; 导向机构作用是保障微位移驱动器, 比如末端输出所需方向的直线位移; 预紧措施用于消除或减小间隙、空回和轴向跳动等有害因素的影响, 对整个系统的误差控制往往具有至关重要的作用。

3 驱动元件

目前, 适用于微位移驱动器的驱动元件主要分成三种: 电机、压电效应材料、巨磁致伸缩

材料。其主要特性以及具体运用的实例如表 1 所示^[8-12]。

表 1 微位移驱动器常用的几类驱动元件

驱动元件	特 性	不 足	驱动器应用实例	分辨率 /nm	行程 /mm	负载 /kg
电机	技术成熟、易于控制	分辨率低、丢步	Keck	4.2	1	>150
			HET(Diamond 2200)	218	25	
			SALT(PI 235)	100	20	>10
			LAMOST(Diamond)	50	6	>50
压电材料	分辨率高、结构紧凑	易老化、不易断电保持、行程短、产热高	E-ELT M1 镜	5		>170
			PI 压电驱动器 (M311)	10	6	4
			E-ELT M5 镜	5	±0.12	
磁致伸缩材料	分辨率高、结构紧凑、承受负载大、易实现断电保持	行程短	GMT 主镜	5	±0.2	
			NGST 遮阳板调整机构			
				<20	> 6	

3.1 电机

用于微位移驱动器的电机有多种类型,常用的有步进电机和直流电机,还有新兴的音圈电机(CELT 的驱动器方案中亦有一种采用音圈电机作为驱动元件^[13])等。步进电机最为经济常用,可作为一种控制用的器件,没有累积误差的特点,适合位移驱动器的需求。同时步进电机种类多,技术成熟,可根据具体要求进行选择。该类型电机具有启动和运行频率高,消耗功率小,有定位转矩等特点。目前大多数已经投入大型天文望远镜使用中的微位移驱动器采用步进电机作为驱动元件^[14]。

3.2 压电效应材料

利用压电陶瓷材料的逆压电效应来实现微量位移,传动链短,因而减少了机械结构引入的误差。具有位移分辨率极高、频率响应高、结构简单、尺寸小、可实现变频、无杂散电磁场和便于遥控的特点。压电式的微位移进给装置可按压电陶瓷的结构形式不同而分为:圆管式、叠片式、尺蠖式和蚯蚓式等。目前压电材料仍然存在的问题主要是材料易老化,寿命短等问题^[15]。PI 公司开发的基于压电技术的微位移驱动器,具有分辨高(P-249.20 驱动器分辨率可达到 0.1 nm^[16])、承载大等优点,但实现大行程较为困难,需要加入放大机构,同时高电压和高产热限制其在天文望远镜主动光学技术中的应用。目前建成的或将建的极大口径望远镜,如 TMT, E-ELT 等都采取了主动光学结合自适应光学的形式,压电陶瓷元件由于以上特性,在以快速校正大气视宁度为主要目标的自适应光学中得到了广泛的应用^[9,17]。

3.3 磁致伸缩材料

在磁场的作用下,磁致伸缩材料产生变形使运动件实现微量位移。改变磁场强度可以得到不同的位移进给量。磁致伸缩驱动元件具有重复位移精度高、无间隙、刚性好、传动惯量小、工作稳定性好、结构简单紧凑、可用于变频等优点。

磁致材料的伸缩量同压电材料类似,十分有限。例如 100 mm 长的铁钴钕棒,其伸缩量只有 7 μm ^[18]。为了满足较大的行程要求,在输出端需要加入位移放大机构或者如图 4 所示的

采用尺蠖原理为外界提供位移。磁致伸缩材料与压电材料相比,前者易于实现断电保持并且功耗小。

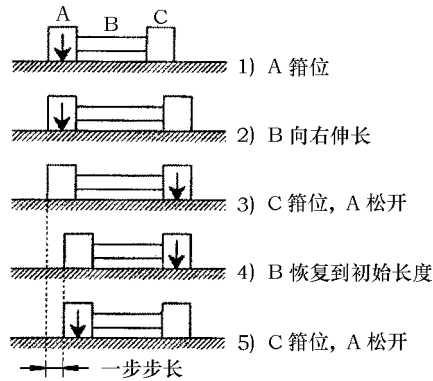


图 4 尺蠖式磁致伸缩材料位移驱动模式^[19]

近年来,对磁致伸缩材料的最新发现(巨磁致伸缩材料)的研究正逐步开展起来,该材料具有承受负载大(达 700 MPa)、应变大(为压电材料的 5~8 倍)、能量密度高、能量转换率高(耦合系数达 0.75)、温度变化适应范围大(耐高温达 200°C)、位移输出精确、响应快、工作电压低(通常小于 30 V)等特性。由于巨磁致伸缩材料所具备的这些优良特性,应用巨磁致伸缩材料研发的天文望远镜用微位移驱动器能实现高效驱动、高定位精度、高分辨率以及结构紧凑等性能,这是传统方式的驱动器所无法比拟的^[6,20]。

4 位移缩放机构

通常,由于各种驱动器输出的位移不能同时满足微位移驱动器的大行程、高精度和大负载的技术要求,因而一般采用多级级联和加入适当的位移缩放机构。表 2 给出并比较了一些目前常用的几种位移缩放机构。

表 2 微位移驱动器常用几种的运动缩放机构

缩放机构	特性	不足	应用实例	减速比
齿轮减速器	结构紧凑、精度高、效率高	间隙、空回、摩擦	SALT Keck HET LAMOST	29.6:1
柔性杠杆及铰链	无间隙、无摩擦	负载能力小、运行速度慢	HET LAMOST	11.9:1 4:1
液压机构	传动比大、运动稳定、传动力大、响应快	泄漏、摩擦、缸体变形	Keck	24:1

4.1 减速器

在采用步进电机作为驱动元件时, 减速器往往作为第一级位移缩放机构。在目前的微位移驱动器的结构中, 通常选用行星齿轮减速器及谐波齿轮减速器。谐波齿轮减速器是利用柔性元件产生的可控波动来实现运动和力的传递而非传统的减速器所采用的杠杆原理或者是三角形斜面原理, 具有传动比大、承载能力高等优点; 但柔性轮对材料要求很高, 制造难度大, 造价高, 同时该减速器会给整个微位移输出系统带来不必要的谐波噪音。另外, 齿隙的客观存在和难以消除是齿轮减速器的一大缺陷^[21]。

4.2 杠杆

如图 5 所示, 利用杠杆原理进行运动缩放是最基本的运动缩放原理之一, 通常在杠杆缩放机构中采用柔性联接元件取代传统的轴承。在由驱动元件和运动缩放机构组成的驱动系统中, 缩放机构本身的精度问题是不容忽视的因素, 为保证驱动系统的高分辨率, 避免传动环节的误差, 采用柔性机构作为驱动器的运动缩放机构是一种非常合适的选择。柔性机构是依靠柔性铰链的弹性形变产生运动, 避免了传统铰链的间隙、摩擦和有害的空回, 需要润滑, 磨损等问题, 大大消除了该环节引入的误差, 可实现纳米级、亚纳米级的高分辨率^[23]。相对于刚性杆件, 柔性杆件由于自身较大的形变, 导致缩放比出现非线性, 对于这种情况, 一方面优化机械结构的设计, 根据实际情况建立合理的数理模型, 进行各个部件尺寸优化; 另一方面可采用闭环控制, 在符合精度要求的范围内, 这种非线性可以通过位移测量标定、反馈补偿加以修正或进行校正, 以满足使用要求。柔性杆件以及柔性铰链通常采用伪刚度理论建立伪刚体模型, 将其柔性转动副等效为扭簧, 对其进行弹性形变和运动特性的分析^[24,25]。

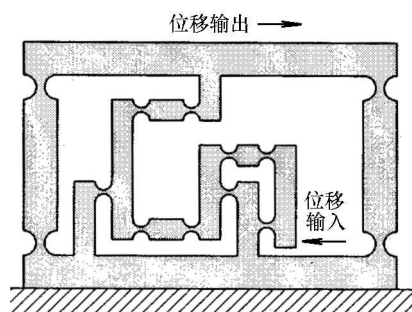


图 5 基于柔性铰链多级杠杆机构^[22]

4.3 液压机构

液压机构传递动力大, 运动平稳; 与其他机构相比可在很大范围内实现无级调速, 可实现大缩放比(可达到 2000:1); 反应快, 冲击小, 能高速起动、制动和转向; 易于实现过载保护。液压机构存在的泄漏, 缸体的变形, 活塞与缸体之间的摩擦乃至爬行, 传递过程中能量的损失造成的传动效率低, 流体装置工作环境对温度的要求等方面的因素是在设计以及采用液压部件时需要重点考虑和改进的^[26]。

Keck 采用了图 6 所示全封闭柔性缸体液压缩放机构, 较好地克服了液体泄漏以及活塞与缸体之间的摩擦的问题。柔性缸体主要面临两方面的问题需要解决:

(1) 柔性缸体弹性形变造成缩放比非线性的分析和评估;

(2) 缸体的防爆裂保护装置的设计。这是采用柔性缸体液压机构时需要着重考虑的。

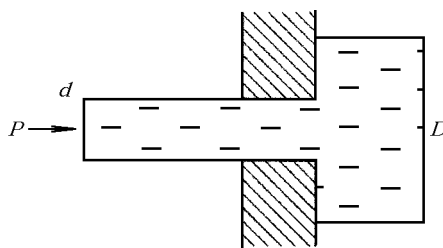


图 6 液压缩放机构示意图

5 导向机构

由于微位移驱动器一般最终需要提供直线位移输出, 而驱动元件和位移缩放机构输出的运动通常除了所需方向的直线位移还有其他形式的运动, 例如扭转等, 因而需要加装导向机构。表 3 列举了天文望远镜用微位移驱动器的一些具体的导向机构及特点。

表 3 微位移驱动器常用几种的导向机构

导向机构	特 性	不 足	应用实例
直线轴承	承载力高、行程大、 可承受冲击载荷	摩擦、需润滑、 间隙	HET、LAMOST、 NIAOT 自行研制 驱动器
柔性导向机构	结构紧凑、无间隙、 无摩擦	行程小, 反力变化	SALT, CELT
膜片导向机构	行程大, 无间隙, 无摩擦	反力变化, 设计复杂	Keck, CSEM 柔性 机构

5.1 直线轴承

直线轴承接触类型可分为滚动摩擦与滑动摩擦。可用于微位移驱动器的滚动摩擦类直线轴承包括滚珠花键副(滚珠导向轴)、滚针导向组件等, 是利用滚珠 / 滚针在精密研磨的滚动沟槽 / 轨道面中平滑滚动做直线运动的导向系统。滚动体直线轴承的承载能力高, 导向性好、对准性好、集中应力小并可实现大行程(cm 级); 由于采用滚动体代替普通花键类导向机构的齿, 滚动摩擦代替滑动摩擦, 与普通花键类导向机构相比, 摩擦大大减小, 有利于消除爬行现象。滚动摩擦类直线轴承用于微位移驱动器的导向、防转机构, 其本身可以承受一定量的扭矩和侧向载荷。但滚动体直线轴承不能彻底消除摩擦和间隙, 必须先润滑^[27]。

滑动摩擦类直线轴承导向机构本质上是滑动摩擦副。较滚动轴承而言, 一方面滑动轴承结构相对简单, 有利于降低加工成本, 减小径向尺寸, 且滑动轴承具有高旋转精度, 由于加工工艺原因, 特大型或是极微小型的轴承通常采用滑动轴承; 另一方面, 如何有效地降低、避免摩擦带来的危害是材料选择、设计使用该类型轴承时所需要着重考虑的。滑动轴承导向机构一般必须提供润滑, 可以由外部提供润滑剂或是轴瓦材料自身含有润滑剂, 但不可避免的摩擦和间隙对实现纳米级分辨率是有害的^[28]。

5.2 柔性杠杆导向机构

与上文提及的柔性杠杆缩放机构类似, 柔性杆件导向机构也利用了柔性铰链机构。柔性杆件导向机构常和柔性杠杆缩放机构整合在一起加工, 可更有效地节约空间提高刚度, 减少和消除传统铰链的间隙、摩擦等问题, 降低各个机构间的连接配合间隙; 无须润滑, 尤其适合于提供精密位移输出但同时又有工作空间限制要求的机构。柔性杆件满足与刚性杆件一致的几何学、运动学原理。最简单但应用也最广泛的柔性杆件导向机构是平行导向机构(如图 7 所示)。它包含有 4 个柔性铰链, 与相应的刚性的平行四杆机构的功能一样, 可实现平动的功能, 缺点是一般行程微小, 且需要仔细设计以消除输出轴的平动偏移效应。

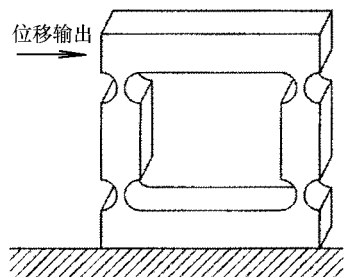


图 7 柔性导向机构示意图 [18]

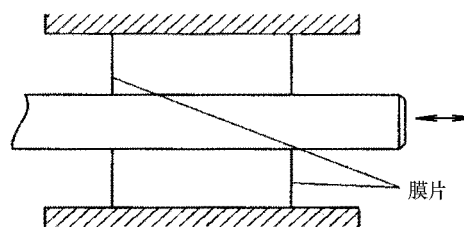


图 8 膜片导向机构

5.3 膜片导向机构

膜片导向机构是柔性机构的一种, 与柔性杆件机构类似。膜片在受到轴向力时, 在弹性变形范围内可以发生轴向移动, 而径向移动以及扭动受到限制, 正是基于膜片具有良好的面内刚度和面外柔度的性质作为导向机构, 如图 8 所示。膜片压力与中心位移呈现近似抛物线的关系, 一般用于中心位移小、特性稳定度要求不严格的装置中 [29]。

6 预紧机构

由于驱动元件、位移缩放机构和导向机构不可避免地引入间隙、空回、轴向跳动等误差。预紧机构对于消除间隙、空回、轴向跳动等误差具有至关重要的作用。根据微位移驱动器的结构特点, 对于轴向直线运动的杆件的预紧元件, 一般采用弹性元件来施加轴向的预紧力, 根据其工作环境的要求, 多采用各种弹性元件。弹性元件种类多, 造价低廉, 加工材料广泛, 吸收能量大, 消除或缓解振动, 抗疲劳性好, 适用于多种工作场合。例如 Keck 望远镜的微位移驱动器通过弹簧引入预紧力; HET 望远镜采用了波纹管结构的弹性材料作为预紧元件 [8]。

7 总结与展望

本文分析了组成微位移驱动器的各个结构, 并结合目前一些已有的应用于天文望远镜的微位移驱动器的具体实例加以说明。目前国际上已建成和在建的大型望远镜采用的多是基于液压、压电、柔性器件或电机-减速器式缩微原理的微位移驱动器, 应用中潜在或已发现诸如漏液、迟滞、间隙和行程不足、可控性不好等问题。新型的巨磁致伸缩材料作为驱动元件具有承载大、效率高、定位精度高、分辨率高以及可控性好等优势, 将为未来天文望远镜用微位移驱动器的研制提供性能更优异的驱动元件; 同时, 不难发现, 柔性机构较之传统机构, 可以大大降低或消除间隙、摩擦, 无需润滑维护, 因而使用柔性位移缩放机构和柔性导向机构有利于提高微位移驱动器的整体精度。另外, 在许多同样应用于天文望远镜主动光学技术领域的力驱动器也大量使用了柔性部件, 如 VISTA 望远镜力促动装配接触部分采用了柔性元件, 允许一定量侧向平移 [30]; NNT 望远镜力驱动器用柔性转动轴承替代球轴承, 更好地克服摩擦以及迟滞作用 [31], 这也为微位移驱动器提供了一定的借鉴。可见, 新型驱动元件以及柔性机构的使用是未来天文望远镜用微位移驱动器研制的一个重要发展方向。随着新材料驱动元件以

及无摩擦柔性传动机构的使用, 微位移驱动器的分辨率、行程和负载等方面的技术指标将得以提升; 随着位移 / 边缘传感器技术的发展和运用, 大型望远镜拼接镜面技术将逐步实现从共焦要求达到共相要求, 如 SALT、HET、LAMOST 达到可见光区域共焦。目前 LAMOST 正在通过安装边缘位移传感器进行升级, 可望达到共相; Keck、GTC 已可实现可见光区域共焦、红外光区域共相^[32,33]。

参考文献:

- [1] Adams M T, Palunas P, Boorh J A, et al. Large Ground-based Telescopes. Oschmann J M, Stepp L M, eds. Hawaii: SPIE, 2003: 693
- [2] Stobie R, Meiring J G, Buckley D. Optical Design, Materials, Fabrication, and Maintenance. Dierickx P, ed. Munich: SPIE, 2000: 355
- [3] Su D Q, Wang Y N, Cui X Q. Ground-based Telescopes. Oschmann J M, ed. Glasgow: SPIE, 2004: 429
- [4] 苏定强, 崔向群. 天文学进展, 1999, 17(1): 1
- [5] 苏定强, 崔向群. 天文学进展, 2001, 19(2 SI): 121
- [6] Yang B T, Yang D H, Meng G, et al. International Conference on Smart Materials and Nanotechnology in Engineering, Du S Y, Leng J S, Asundi A K, eds. Harbin: SPIE, 2007: 64230Z
- [7] 李国平, 苗新利. 光学精密工程, 2005, 13(3): 332
- [8] 崔向群, 苏定强. LAMOST 技术报告, LAMOST-TRNAIRC-L3-001, 北京: 1999: 2
- [9] University of California, California Institute of Technology. Thirty Meter Telescope Construction Proposal, <http://www.docstoc.com/search/construction-proposal-forms/>, 2007
- [10] PI (Physik Instrumente) Datasheet, Precision Positioning Stages & Actuators. <http://www.physikinstrumente.com/en/products/prdetail.php?sortnr=703700>, 2006
- [11] Krabbendam V L, Sebring T A, Ray F B. Advanced Technology Optical, Stepp L M, ed. Hawaii: SPIE, 1998: 436
- [12] 杨德华, 戚永军, 朱振东等. 光学精密工程, 2005, 13(2): 191
- [13] Mast T S, Nelson J E. Optical Design, Materials, Fabrication, and Maintenance. Dierickx P, ed. Munich: SPIE, 2000: 226
- [14] 汪涛. 硕士论文. 南京: 南京天文光学技术研究所, 2007: 7
- [15] 范伟, 余晓芬. 仪器仪表学报, 2006, 27(11): 1383
- [16] PI (Shanghai) Datasheet, High Performance Piezo Actuators for OEM, Industry and Research. <http://www.pi-china.cn/products/Product.asp?>, 2005
- [17] Cullum M. Technologies for a future giant optical telescope. Helsinki: ESO, 2008: 12
- [18] 中国科学技术大学精密机械与机密仪器系. 精密机械设计. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1999: 188
- [19] Yang B T, Bonis M, Tao H, et al. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2006, 16: 1227
- [20] 胡明哲, 李强, 李银祥, 等. 稀有金属材料与工程, 2000, 29(6): 366
- [21] 周晖, 温庆平, 张伟文. 真空与低温, 2004, 10(4): 187
- [22] 于靖军, 毕树生, 宗光华. 航空学报, 2004, 25(1): 74
- [23] 辛洪兵, 郑伟智, 赵果. 光学精密工程, 2003, 11(1): 89.
- [24] 于靖军, 毕树生, 宗光华. 机械科学与技术, 2003, 22(2): 241
- [25] 于会涛, 孙洪, 马培菽. 传动技术, 2006, 20(4): 10
- [26] 中国机械工程学会 / 中国机械设计大典编委会. 中国机械设计大典. 南昌: 江西科学技术出版社, 2002: 258
- [27] 顾伯忠, 周于鸣, 杨德华. 天文研究与技术, 2006, 3(4): 365
- [28] 陈玉明, 揭晓华, 吴锋, 等. 材料研究与应用, 2007, 1(2): 95
- [29] CSEM Co. Flexure Elements, http://www.csem.ch/include/scripts/forceframe.asp?/detailed/e_211_flex_element.htm, 2002

- [30] Bennett R, Baine F. Modeling and Systems Engineering for Astronomy. Craig S C, Cullum M J, eds. Glasgow: SPIE, 2004: 91
- [31] Citterio O, Conti G, Mattaini E. Very Large Telescopes, their Instrumentation and Programs. Franza F, ed. Milan: IAU, 1984: 41
- [32] Esposito S, Pinna E, Tozzi A, et al. Astronomical Adaptive Optics Systems and Applications. Tyson R K, Lloyd-Hart M, eds. San Diego: SPIE, 2003: 72
- [33] Chanan G A, Mast T, Nelson J, et al. Advanced Technology Optical Telescopes V, Stepp L M, ed. Hawaii: SPIE, 1994: 622

Review of Mechanical Structure of Micro-displacement Actuator for Optical Astronomical Telescope

SHAO Liang^{1,2}, YANG De-hua¹, CHEN Kun-xin¹, YANG Bin-tang³

(1. National Astronomical Observatories/Nanjing Institute of Astronomical Optics & Technology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. The state key Lab. of Mechanical System & Vibration, School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: The dilemma of the large diameter of mirror needed in modern astronomy against the limitation of manufacturing process is resolved by the segmented mirror active optics technology, which has been widely used in large aperture infrared/optical astronomical telescopes. To meet the performance requirements of co-focusing and co-phasing in segmented mirror active optics, micro-displacement actuators with nanometer resolution and millimeter stroke are necessary. Micro-displacement actuators are reviewed from the structural point of view for optical astronomical telescopes involving segmented mirror active optics. The emphasis is on working principle, performance requirement and mechanical structure of the actuators. Various basic functional components of actuator are described to figure out pros and cons based on current applications in astronomical telescopes. Seeing that, flexure exhibits excellent mechanical properties free of friction, clearance, and lubrication, it is extensively used in displacement pantograph mechanism and guide mechanism to attain fine resolution of movement transmitting. In addition, novel intelligent materials are introduced to development of actuators. Giant magnetostrictive material with the solid-state deformation principle has the potential to render high force and precise displacement with small volume, making it suitable to realize efficient miniature actuators for astronomical telescopes. Piezoelectric ceramics can generate precise deformation even at high-frequency band, which enables them capable for adaptive optics. To meet technical requirements for future extremely large telescope, the development tendency of micro-displacement actuator is further discussed.

Key words: astronomical telescope; segmented mirror active optics; micro-displacement actuator; displacement pantograph mechanism; guide mechanism